№ 12. Warszawa, 25 grudnia 1934 r. Rok XII.

TECHNIKA CIEPLNA

CZASOPISMO STOWARZYSZENIA DOZORU KOTŁÓW W WARSZAWIE

OFICJALNY ORGAN POLSKIEGO KOMITETU NORMALIZACYJNEGO DLA SPRAW KOTŁOWYCH

REDAKTOR: Inż. techn. JAN KOMARNICKI.

Wydawca: Stowarzyszenie Dozoru Kotłów w Warszawie.

REDAKCJA I ADMINISTRACJA: WARSZAWA, PIUSA XI 32, m. 2. TEL. 8-25-04.

GODZINY BIUROWE: ADMINISTRACJI — CODZIENNIE, OD 10 DO 15.

Prof. Dr. Inż. WIESŁAW CHRZANOWSKI.

Z PRAKTYKI TURBIN PAROWYCH.

W niniejszej publikacji zamierzam poruszyć zagadnienia, dotyczące częściowo obsługi turbiny parowej, częściowo jej budowy. Są to sprawy stosunkowo proste, tak że właściciel turbiny może dopilnować ich i uchronić się często przed dotkliwemi stratami.

Jeszcze obecnie zdarzają się w naszych siłowniach wypadki *zniszczenia łopatek przez rdzę* (korozja) w czasie dłuższego postoju turbiny parowej, pomimo że sprawa ta była przed kilku laty szczegółowo rozważana w polskiej literaturze technicznej. Wspomniane zniszczenie łopatek powstaje przez niewłaściwą obsługę urządzenia silnikowego, spowodowaną przeważnie brakiem odpowiednich przepisów obsługi, które powinien dostarczyć dostawca.

Łopatki są częścią najkosztowniejszą turbiny parowej, konieczność wymiany ich naraża więc właściciela turbiny na poważne straty materjalne, a w niektórych wypadkach może nawet uniemożliwić uruchomienie w określonym czasie wytwórni lub jednego z jej działów. W praktyce zachodzi np. następujący wypadek. Z powodu braku zbytu wytwórnia ogranicza swą produkcję, skutkiem czego zapotrzebowanie mocy napędowej zmniejsza się. Jedna turboprądnica zostaje zatrzymana na dłuższy czas, np. na jeden rok. W najlepszym razie zagląda się wtedy do wnętrza kadłuba, usuwając z niego pozostałości wody, aby zapobiedz rdzewieniu. Ponieważ jednak siłownia posiada wspólny przewód, doprowadzający parę do wszystkich silników, przeto dopływ pary do wyłączonej z pracy turbo - prądnicy jest odgraniczony tylko głównym zaworem odcinającym i zaworami regulacyjnemi. W praktyce *żaden zawór nie jest bezwzględnie szczelny.* Skutkiem tego przedostają się do kadłuba turbiny opary pary przez zawory przedtem wspomniane i przez zawory odcinające dopływ pary do dławnic. Równocześnie dochodzi do kadłuba turbiny przez dławnice powietrze, które przy obecności oparów powoduje rdzewienie łopatek, mogące skończyć się całkowitem ich zniszczeniem przy dłuższym postoju turbiny. Chcąc tego uniknąć, trzeba turbinę po jej zatrzymaniu nietylko bardzo starannie osuszyć, lecz także nie można dopuścić do wnętrza kadłuba turbiny w czasie jej postoju najmniejszych oparów. Środki, jakie należy stosować, podałem w *Technice Cieplnej* № 12, rok 1930.

Innem zjawiskiem, sprawiającem w ruchu turbozespołu osiowego, zwłaszcza o dużej mocy, czasem dużo kłopotu, są *nadmierne drgania wirnika przy uruchamianiu turbiny,* zachodzące po jej postoju, nawet krótszym t. j. 6 do 12 godzin. Przyczyną tych drgań jest odkształcenie się wału, spowodowane również niewłaściwą obsługą turbiny parowej.

Po zatrzymaniu ruchu turbiny zaczynają poszczególne jej części wewnętrzne stopniowo stygnąć. Proces ten, aż do osiągnięcia temperatury otoczenia, trwa dość długo, bo w turbinie o wielkiej mocy ponad 36 godzin. Części wirujące są bowiem okolone kadłubem, również rozgrzanym.

Jeżeli wirnik turbiny w okresie ostygania jest nieruchomy, to wał może odkształcić się. Praca z krzywym wałem jest niemożliwa z powodu powstających, jednostronnie działających wielkich sił odśrodkowych, które uniemożliwiają osiągnięcie normalnej liczby obrotów. Jako przyczynę wspomnianego skrzywienia się nieruchomego wału turbiny należy uważać przedewszystkiem jednostronne ostyganie poszczególnych części. Odpływ ciepła z gorącego kadłuba jak i odpływ z części wirujących nie odbywa się bowiem symetrycznie do osi wału, bo ciepło promieniowania płynie do górnych części

kadłuba. Dalszą przyczyną braku symetrji jest jednostronne połączenie kadłuba ze skraplaczem, podział kadłuba w osi poziomej, niesymetryczne połączenie kadłuba z płytą fundamentową.

Nie wydaje mi się natomiast słuszne uważać za przyczynę skrzywienia się nieruchomego wału turbiny większe wydłużenie się dolnych jego włókien niż górnych, z powodu przegięcia się obciążonego wirnikami wału.

Jak praktyka wykazała, można z łatwością zapobiec wspomnianemu skrzywieniu się wału turbiny parowej, zmieniając w okresie ostygania turbiny położenie wału. W tym celu dostawca powinien dostarczyć do wielkich turbin urządzenie, umożliwiające powolne okręcanie mechaniczne wirnika zapomocą silnika elektrycznego w czasie każdej przerwy w ruchu turbiny, ewentualnie aż do zupełnego ostygnięcia jej. Turbiny o mocy średniej natomiast powinny być wyposażone przynajmniej w urządzenie, umożliwiające choć ręczne okręcanie wału turbiny; — w takim wypadku trzeba po zatrzymaniu turbiny zmieniać położenie wirnika o około 45° najpierw co pół godziny, a następnie co godzinę aż do osiągnięcia dostatecznego ostygnięcia turbiny.

Jeśli jednak wał z przyczyny zaznaczonej wygiął się, to często udaje się wyprostować go przez podgrzewanie turbiny parą przy bardzo małej liczbie obrotów wału, o ile możności poniżej 200 *obr/min*, w ciągu dłuższego czasu, t. j. 1 do 2 godzin. W razie niepowodzenia przy prostowaniu tym względnie tanim i mało kłopotliwym sposobem, nie pozostaje nic innego, jak zastosowanie jednostronnego ogrzewania wału palnikami, które daje przeważnie dobre wyniki.

Stosunkowo rzadko zachodzi *wytopienie się białego metalu z panwi łożysk turbin parowych*. Skutki takiego wytopienia są zwykle bardzo ciężkie, bo przeważnie następuje nietylko zniszczenie łopatek, lecz i wygięcie się wału turbiny. Naprawa wymaga oprócz dużych kosztów dłuższego czasu.

Wytopienie białego metalu z panwi może być spowodowane stosowaniem niewłaściwego, lub zbyt zanieczyszczonego oleju lub też brakiem smaru w panwi. Pierwszych dwóch przyczyn, których uniknięcie nie sprawia trudności, nie będę poruszał, rozważę natomiast sprawę braku smaru w łożyskach.

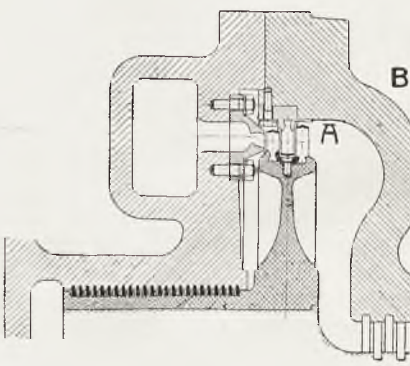
Z wyjątkiem nielicznych wypadków małych turbin, posiadających smarowanie pierścieniowe, łożyska ogromnej większości turbin są wyposażone w smarowanie obiegowe olejem pod ciśnieniem. Ponieważ czop łożyska pracuje z bardzo dużą prędkością obwodową, przeto zadaniem oleju tego jest nietylko smarowanie panwi, lecz także odprowadzenie z nich ciepła wytworzonego. Wynika z tego, że smarowanie musi być nietylko intensywne, lecz także ciągłe, a najmniejsza przerwa w dostarczaniu smaru musi przyczynić się do wytopienia białego metalu.

Panwie łożysk zasilane są zwykle tym samym olejem, który płynie do serwomotoru turbiny parowej. Fakt ten starało się wyzyskać szereg konstruktorów już przed dłuższym czasem w ten sposób, aby w razie braku oleju pod ciśnieniem dopływ pary świeżej do turbiny został raptownie odcięty. Konstrukcyjnie można zagadnienie rozwiązać różnie, np. w razie braku oleju pod ciśnieniem tłok względnie tłoki serwomotoru, działającego na zawory regulacyjne, zamykają te zawory pod wpływem działania sprężyny, umieszczonej w cylindrze serwomotoru; — zamiast tej budowy można główny zawór odcinający połączyć z tłokiem osobnego serwomotoru, na którego jedną stronę działa ciśnienie oleju, a na drugą sprężyna. Praktyka wykazała jednak, że niestety działanie wyżej podanych urządzeń jest zbyt powolne i skutkiem tego, w razie braku dopływu oleju, nie zapobiega wytopieniu białego metalu w łożyskach i z niem połączonym destrukcjom turbiny.

Brak smaru w łożyskach turbiny bardzo rzadko powstaje skutkiem zepsucia się pompki olejowej, a następuje przeważnie skutkiem rozłączenia się jakiegoś połączenia w przewodach olejowych. Z tego wynika, że połą-



Rys. 1



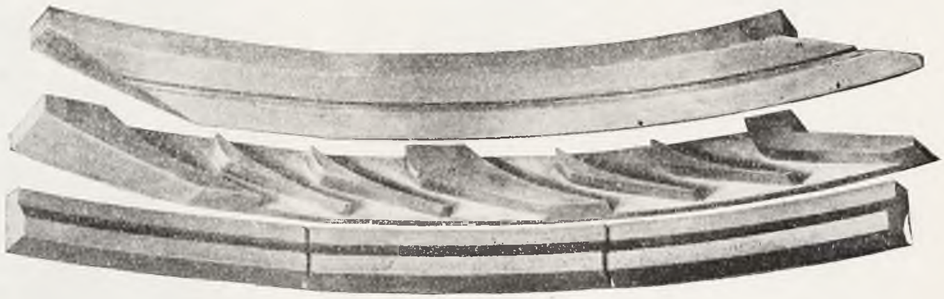
Rys. 2

czenia te należy podczas montażu jak najstaranniej ubezpieczyć, aby w ruchu turbiny, mimo nieuniknionych drgań, nie obluźniały się, oraz o ile możności zastosować takie ubezpieczenie przeciwko obluźnianiu, które w razie sabotażu utrudniłoby rozluźnienie ich. Niezależnie od tego trzeba z naciskiem podkreślić, że *połączenia przewodów olejowych są częścią instalacji, wymagającą bardzo ścisłej kontroli przez odpowiedzialny personel*

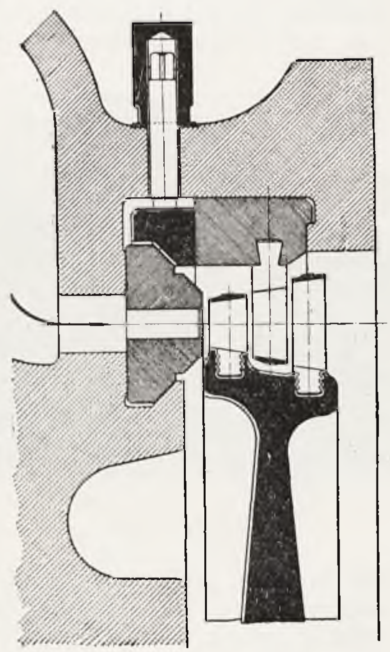
Ujemnym skutkom trzech powyżej przytoczonych zjawisk można zapobiec przez stosowną obsługę, natomiast kłopoty, jakie właściciel turbiny ma czasem z kierownicami osiowych turbin akcyjnych polegają na niewłaściwej ich budowie. Obecnie tarcze kierownicze są już prawie przez wszystkie wytwórnie prawidłowo wykonywane, t. j. w ten sposób, że mogą one swobodnie wydłużać się promieniowo i osiowo, tak że wyjmowanie ich z kadłuba turbiny nie sprawia żadnych trudności. Ostatnie powstają natomiast w niektórych konstrukcjach kierownic pierwszego stopnia ciśnienia.

Dawniej przy stosowaniu pary dolotowej o temperaturze poniżej 350°C używano żeliwa na kierownice lub dysze pierwszego stopnia ciśnienia. Jedną z dość rozpowszechnionych konstrukcyj widzimy na rys. 1 i 2. Korpus dysz jest tutaj przytwierdzony zapomocą śrub do kadłuba turbiny, a kanaliki dla przepływu pary są ręcznie obrabiane, co jest dość kosztowne. Budowa ta przedłuża trochę kadłub, lecz demontaż korpusu dysz jest zawsze możliwy, choć może uciążliwy. Znacznie korzystniejsze rozwiązanie konstrukcyjne, uwidocznione na rys. 3 i 4, również w wykonaniu z żeliwa stosuje fabryka *Brown-Boveri.* Jak z rysunków wynika, możliwa jest obróbka mechaniczna kanalików dla przepływu pary, kadłub skraca się, a demontaż jest znacznie łatwiejszy. Żeliwne łopatki posiadają w obydwóch wykonaniach tę wspólną wadę, że para zdziera je w stosunkowo krótkim czasie, nawet przy niezbyt wysokiej temperaturze pary, a przy wyższych temperaturach są one ze względu na zmianę struktury żeliwa wogóle nieodpowiednie.

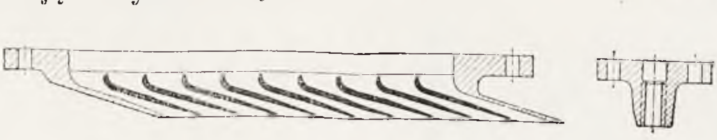
Budowę według rys. 3 i 4 można z łatwością wykona z omaterjału odporniejszego od żeliwa, np. z t. zw. stali nierdzewiejącej lub z 5% stali niklowej;—firma *Brown Boveri* uczyniła też to z zupełnem powodzeniem i stosuje przy wyższych temperaturach pary. Natomiast konstrukcję rys. 1 starano się ulepszyć, zalewając łopatki ze stali szlachetnej w korpusie żeliwnym (rys. 5). Ponieważ budowa ta przedłużała kadłub turbiny, przeto niektóre wytwórnie przytwierdzały żeliwny korpus *K* z zalanemi łopatkami *Z* dysz lub kierownic do kadłuba w sposób przedstawiony na rys. 6. Praktyka wykazała jednak, że przy pracy z parą o temperaturze powyżej około 330°C korpus wspomniany pęka w miejscach zalania łopatek, a struktura żeliwa zmienia się w sposób zastraszający, co dobitnie wykazuje fotografja rys. 7.



Rys. 3

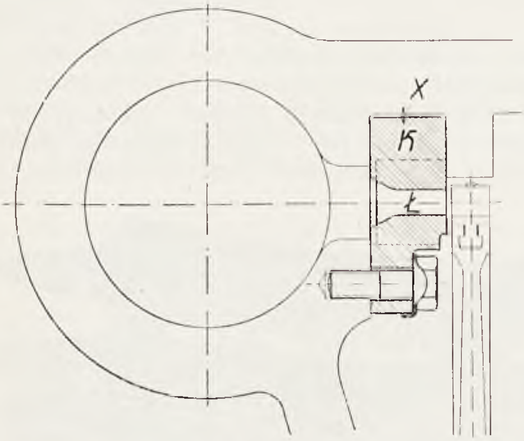


Rys. 4



Rys. 5

Demontaż korpusu dysz, przytwierdzonego do kadłuba turbiny według rys. 6, sprawia ogromne trudności, zwłaszcza jeżeli kadłub



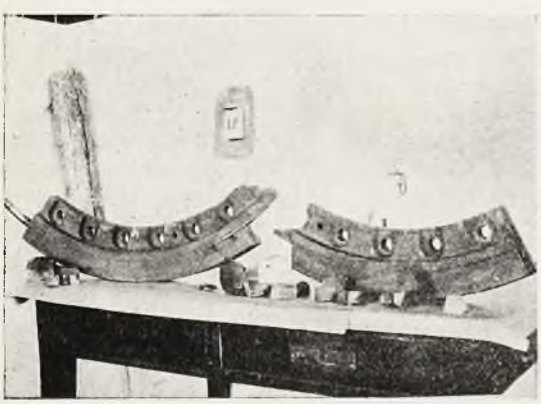
Rys. 6.

wykonano ze staliwa i wyżarzono go prawidłowo. Korpus kierownic (dysz) pierwszego stopnia ciśnienia musi być bowiem w kierunku osiowym po obydwóch stronach dopasowany



Rys. 7.

do kadłuba turbiny, jeśli para świeża nie ma działać bezpośrednio na dławnicę wysokoprężną. Mimo pozostawienia szczeliny X dla



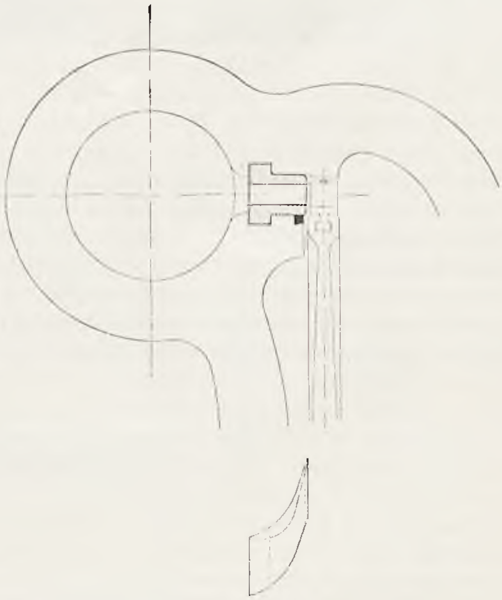
Rys. 8

umożliwienia promieniowego wydłużania (niektóre fabryki zapominają o tem), wyjęcie



Rys. 9

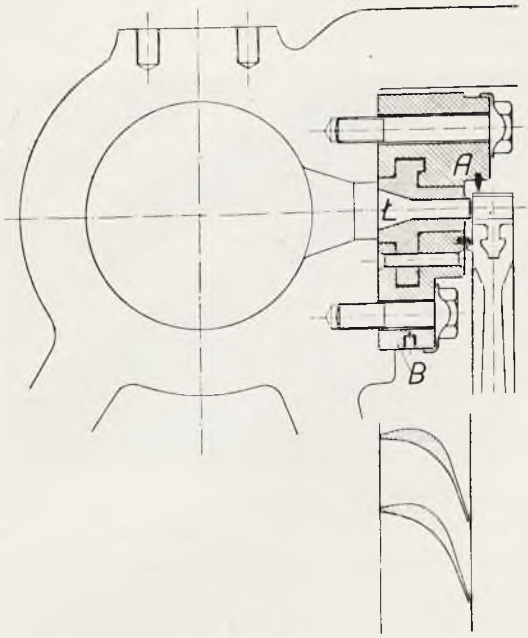
w całości korpusu dysz z kadłuba turbiny jest prawie niemożliwe, bo przydłużenie trwałe niewyżarzonego żeliwa jest większe od stali-



Rys. 10.

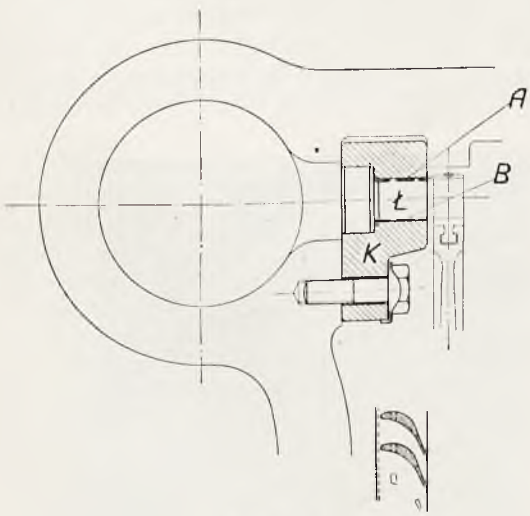
wa wyżarzonego. Jeżeli oprócz tego korpus dysz jest popękany w miejscach zalania łopatek, to przedstawia on po wyjęciu obraz, jaki widzimy na rys. 8 i 9.

Zalewane łopatki kierownic (dysz) posiadają jeszcze tę słabą stronę, że ścianki kanalików przepływowych na obwodzie wewnętrznym i zewnętrznym można tylko ręcz-



Rys. 11

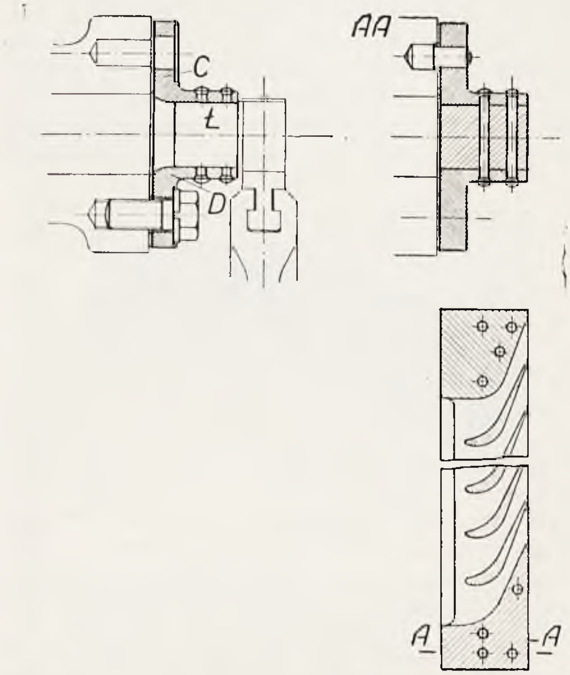
nie obrobić, co jest bardzo uciążliwe i kosztowne, zwłaszcza przy niskich łopatkach. Z tej przyczyny równocześnie z wprowadzeniem pary o wysokiem ciśnieniu dolotowem,



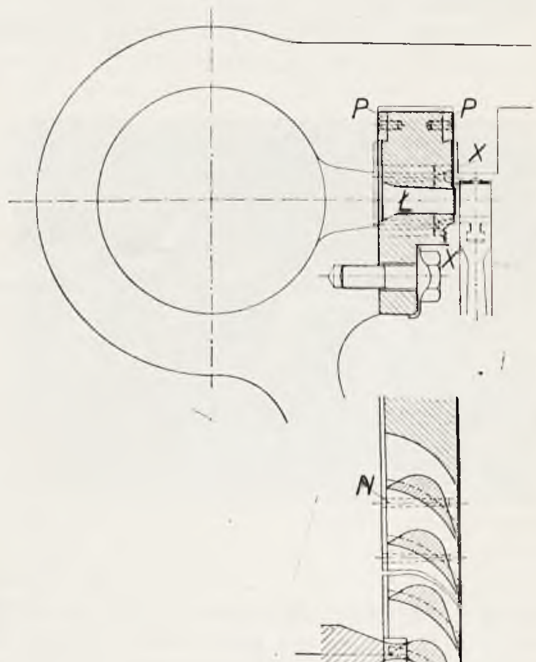
Rys. 12

przy którem otrzymuje się zwykle łopatki dość niskie, zaczęto wykonywać przepływowe kanaliki łopatkowe całkowicie obrobione w sposób mechaniczny.

Prof. *Loesel,* jako naczelny inżynier *Pierwszej Berneńskiej Fabryki,* zastosował wówczas konstrukcję całkowicie obrobionych kanalików kierowniczych ze stali szlachetnej według rys. 10. Łopatki pierwszego stopnia ciśnienia, tworzące kanaliki wspomniane, są tutaj bezpośrednio wstawione w kadłub turbiny, przez co otrzymuje się skrócenie kadłuba. Oprócz



Rys. 13



Rys. 14

kosztowności wykonania budowa wskazana posiada tę słabą stronę, że w razie konieczności wyjęcia łopatek, która ze wzgledu na użycie stali pełnowartościowej bardzo rzadko zachodzi, trzeba łopatki siłą, czasem kawał-

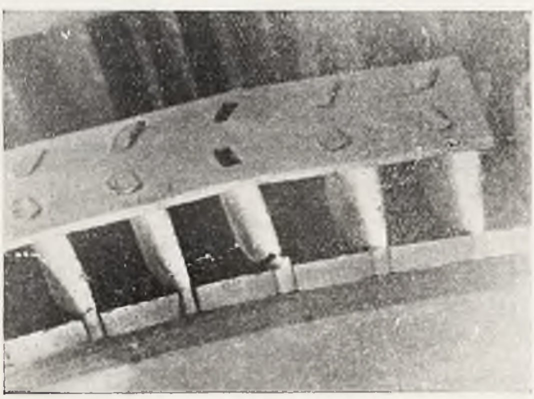
kami, wybijać z kadłuba, przyczem ostatni może być uszkodzony. Uniknąć można tego, wstawiając łopatki *Ł* w pierścienie *A* i *B* ze staliwa, lub stali zlewnej (rys. 11), które przytwierdza się zapomocą śrub do kadłuba turbiny. Budowę tego rodzaju stosuje szereg firm, np. *A. E. G*, *Wumag*, *Škoda*, a wykonanie ostatniej wytwórni widzimy na rys. 11; oczywiście budowa kadłuba wydłuża się tutaj trochę i wykonanie jest jeszcze kosztowniejsze.



Rys. 15

Tańszą, a równie dobrą konstrukcję wykonywa od lat fabryka *Oerlikon* (rys. 12). Poszczególne całkowicie obrobione łopatki *Ł* wstawia się w cienkie obrobione pierścienie stalowe *A* i *B* oraz przynitowuje się do nich. Całość wsuwa się w staliwny korpus *K*, który przytwierdza się do kadłuba turbiny.

Fabryka *Siemens - Schuckerta* przynitowuje natomiast, jak pokazuje rys. 13, poszczególne łopatki do grubszych pierścieni stalowych *C* i *D*, które są połączone ze sobą nitami i przyśrubowane do kadłuba turbiny. Względem tej dość kosztownej budowy nie można mieć żadnych zastrzeżeń.

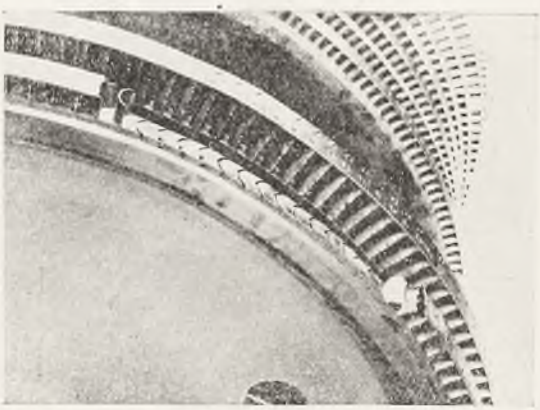


Rys. 16

Obecnie, w okresie kryzysu ekonomicznego, wytwórnie szukają słusznie dróg do potanienia budowy. Zaczęły one powracać do konstrukcyj tańszych, w szczególności zalewanych łopatek. Jeżeli temperatura jest niższa od około 250°C i żeliwny korpus dysz znajduje się w żeliwnym kadłubie turbiny, to nie potrzeba mieć żadnych wątpliwości. Natomiast przy wyższych temperaturach pary można obawiać się skutków podanych przy rozważaniu konstrukcji rys. 6. Chcąc uniknąć tych kłopotów, a stosować przy wyższych temperaturach pary tańsze konstrukcje, można całkowicie obrobione łopatki ze stali szlachetnej wstawiać w korpus staliwny lub ze stali zlewnej, jak to np. wykonywa *Pierwsza Berneńska Fabryka* (rys. 14). Łopatki posiadają promieniem zatoczone końce *X*, tak że włożenie ich w korpus jest proste; — położenie ich ustala nit *N*. Kanaliki przepływowe są całkowicie obrobione. Korpus dysz spoczywa w kadłubie na wąskich pierścieniach *P* z bronzu odpornego na temperaturę do 500°C (t. zw. bronz *DG*), aby ułatwić ewentualny demontaż. Potrzeba ostatniego zachodzi przy budowie według rys. 14 naogół tylko wówczas, jeżeli łopatki kierownic (względnie dysz) zostałyby zdarte przez parę, a wtedy rozbicie korpusu przy jego wyjmowaniu nie odgrywałoby żadnej roli.



Rys. 17



Rys. 18

Chcąc osiągnąć jeszcze większe zmniejszenie kosztów wytwórczych, niektóre fabryki starają się zalewać łopatki ze stali szlachetnej w staliwnym korpusie kierownic, aby móc

stosować budowę tę przy wysokich temperaturach pary. Oblewanie łopatek staliwem nie udaje się naogół dotychczas, bo staliwo płynne spala końce łopatek. Podobno wyjątkowo niektóre wytwórnie osiągnęły już w tej dziedzinie pomyślne wyniki fabrykacyjne, lecz nie wiadomo, czy korpusy dysz (kierownic) nie będą pękały przy pracy turbiny w miejscu oblania łopatek staliwem. Oprócz tego trzeba pamiętać o tem, że kanaliki przepływowe powinny być przy mniejszych wysokościach łopatek całkowicie obrobione, a przy większych wysokościach choć tylko po stronie wylotowej. Oczywiście należy spodziewać się, że z biegiem czasu uda się zalewać łopatki stalowe w staliwie w sposób niezawodny, wykluczający niedomagania w ruchu turbiny.

Przy bardzo wysokich ciśnieniach i temperaturach pary dolotowej trzeba stosować konstrukcje bardzo solidne, bez względu na ich koszty, aby uniknąć w ruchu turbiny wszelkich niemiłych niespodzianek. Firma *Brown - Boveri* wykonywa np. w takich wypadkach korpus dysz wraz z łopatkami z jednego kawała (rys. 15) ze stali, co oczywiście wymaga dużo pracy ręcznej.

Z powyższych rozważań o budowie kierownic (dysz) pierwszego stopnia ciśnienia części akcyjnej należy wyciągnąć wniosek, że zamawiający turbinę parową powinien poczynić odpowiednie zastrzeżenia, mianowicie, że żeliwo może być używane na korpus kierownic tylko przy temperaturze poniżej 250°C, a korpus sam musi być tak zbudowany, aby jego wyjmowanie z kadłuba było możliwe i o ile możności dogodne.

Również w pierwszym stopniu ciśnienia, w którym pracuje para o wysokiej temperaturze, może najłatwiej nastąpić wypadek wyłamania łopatek wirnikowych z powodu braku możności swobodnego wydłużania się bandaża nałożonego na łopatki. Pod wpływem ciepła pary łopatki turbiny osiowej wydłużają się osiowo, a bandaż w kierunku obwodowym. Celem zapewnienia mu możności swobodnego wydłużania powinien on składać się z krótkich kawałków, pomiędzy którymi znajdują się szczeliny wielkości 2 do 4 mm. W razie braku ich następuje przy wydłużaniu się poszczególnych części pod wpływem wysokiej temperatury pary zrywanie nitów łopatkowych przytwierdzających części bandaża, odłamywanie swobodnych kawałków bandaża i wyłamanie łopatek, mogące spowodować nawet całkowite zniszczenie turbiny. Rys. 16, 17 i 18 uwidoczniają dobitnie wyłamanie łopatek z przyczyny powyżej zaznaczonej.

Właściciel turbiny może skontrolować te szczeliny w czasie montażu nowej turbiny, a powinien zbadać je także przy przeprowadzaniu każdorazowej kontroli turbiny, aby przekonać się, czy materjał bandaża nie posiada przypadkowo większego przydłużenia trwałego od materjału łopatek.

INŻ. RUDOLF MADEJ.

BADANIE GOSPODARKI CIEPLNEJ ELEKTROWNI.

Przeprowadzone przez Stowarzyszenie Dozoru Kotłów w Warszawie pomiary miały na celu zobrazowanie całokształtu gospodarki cieplnej i energetycznej i sprawdzenie istniejącej kontrolnej aparatury ruchu. Pomiary prowadzono bez przerwy w ciągu 24 godzin, a to dla ujęcia całego cyklu pracy elektrowni w ciągu pełnej doby. Podczas pomiarów warunki pracy miały mniej więcej odpowiadać normalnemu codziennemu przebiegowi, aby dać właściwe odbicie pracy elektrowni.

Opis badanych urządzeń i uwagi ogólne.

Przedmiotem badania w kotłowni były trzy kotły, identyczne pod względem budowy i wielkości, wodnorurkowe sekcyjne typu morskiego o poprzecznych walczakach, zbudowane w r. 1924/25 na ciśnienie 14 atm. Układ kotła przedstawia schematycznie rys. 1. Każdy z badanych kotłów posiada:

powierzchnię ogrzewalną kotła	510	m^2
„ „ przegrzewacza pary	169	„
„ „ ekonomisera . . .	250	„
„ rusztów	29,7	„
objętość komory paleniskowej około	69	m^3

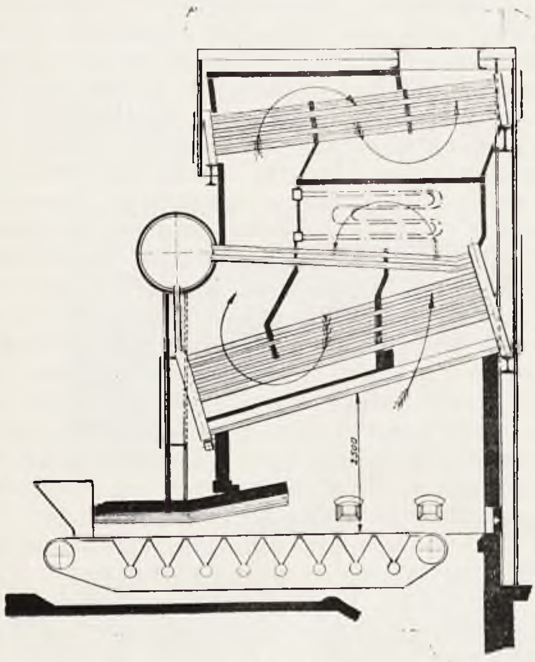
Przegrzewacze pary układu poziomego. Podgrzewacze wody, o rurach gładkich lekko nachylonych do poziomu, umieszczone nad każdym z kotłów, pracują na zasadzie przeciwprądu. Kotły są wyposażone w podwójne ruszty mechaniczne z podmuchem o 8-iu strefach. Ciąg naturalny.

Obmurze kotłów wyróżnia się tem, że poza komorą paleniskową, posiadającą masywniejsze ściany z materjału ogniotrwałego i cegły zwyczajnej, w dalszych częściach składa się głównie z blach z przymocowanemi do nich cegłami izolacyjnemi o grubości 70 — 45 *mm*.

Jako woda zasilająca jest używany kondensat z turbiny. Woda dodatkowa, uzupełniająca straty, jest destylowana w dwustopniowej wyparce. Całkowita ilość wody zasilającej przechodzi przez próżniowy odgazowywacz, skąd idzie do kotłów. Zasilanie jest regulowane automatycznie regulatorami systemu Hannemann'a.

W kotłowni zapomocą wodomierza mierzona jest ogólna ilość wody doprowadzanej

do kotłów. Każde palenisko wyposażone jest w licznik węgla. Poza tem zainstalowane są dla każdego kotła jedynie analizatory spalin i ciągomierze.



Rys. 1

Podczas pomiarów znajdowała się w ruchu jedna turbina kondensacyjna (dla p = 14 ata, t = 300°C, n = 3000 *obr/min*) bezpośrednio sprzężona z generatorem prądu zmiennego o mocy nominalnej 12500 *kW*. Zużycie pary w turbinie jest określane przez pomiar kondensatu zapomocą wodomierza.

Głównym odbiorcą pary jest turbina. Pozatem para jest doprowadzana do wyparki, odgazowywacza wody zasilającej, do nabijania parowozu bezpaleniskowego i do łaźni.

W przeprowadzaniu pomiarów duży nacisk położono na dokładność i pewność wyników. Poza pomiarem wody zasilającej, którą mierzono zapomocą dysz (wzór V. D. I. z r. 1930) oddzielnie dla każdego kotła, równocześnie mierzono również zapomocą dysz ogólną ilość wytwarzanej pary. Zużycie pary przez turbinę określano mierzeniem kondensatu w wycechowanych zbiornikach. Ilość świeżej pary doprowadzanej do wyparki i do łaźni określano przez ważenie skroplin tej pary. Dodatkową wodę surową do wyparki mierzono zbiornikami. Ilość pary doprowadzanej do odgazowywacza i do parowozu bezpaleniskowego mierzono zapomocą dysz. Spalony węgiel, odzielnie dla każdego kotła, ważono na wagach dziesiętnych.

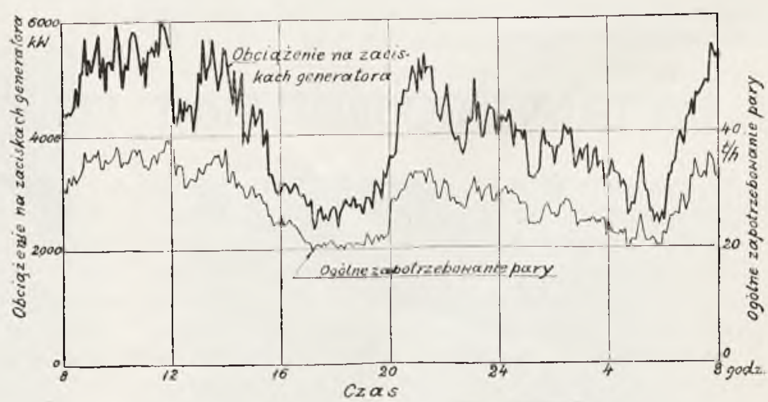
Do wytwarzania potrzebnej ilości pary w omawianej elektrowni, produkującej energję elektryczną na siłę i światło, przeciętnie pracują dwa kotły. Trzeci kocioł, będący cały czas pod pełnem ciśnieniem, ma współdziałać przez kilka godzin na dobę w opanowywaniu większych okresowych szczytów i stanowi będącą w pogotowiu rezerwę.

W ciągu doby pomiarowej parowóz bezpaleniskowy, służący do transportu węgla w obrębie elektrowni, był jeden raz nabijany.

Wyniki pomiarów.

Obrazem warunków pracy jest przedewszystkiem przebieg obciążeń. Jak to wynika z wykresu (rys. 2), na którym zestawiono szczegółowy przebieg wytwarzanej mocy na zaciskach generatora, oraz ogólnego zapotrzebowania pary, obciążenie jest typowo zmienne. Do tego dochodzi w pewnych granicach czynnik nieokreśloności obciążeń pod względem wysokości i przebiegu, typowy w elektrowniach okręgowych, co stwarza trudniejsze warunki pracy. W szczególności odnosi się to do urządzenia kotłowego, o ile ma być osiągnięta możliwie najlepsza ruchowa sprawność z jednej strony, z drugiej zaś zabezpieczona pewność ruchu i rezerwa, na wypadek czy to nieprzewidzianego gwałtowniejszego wzrostu obciążeń, czy potrzeby szybkiego odstawienia kotła.

Pracę kotłów podczas pomiarów ilustruje następny wykres (rys. 3), podający średnią godzinową wartość obciążeń poszczególnych kotłów, jak również sumaryczne obciążenia

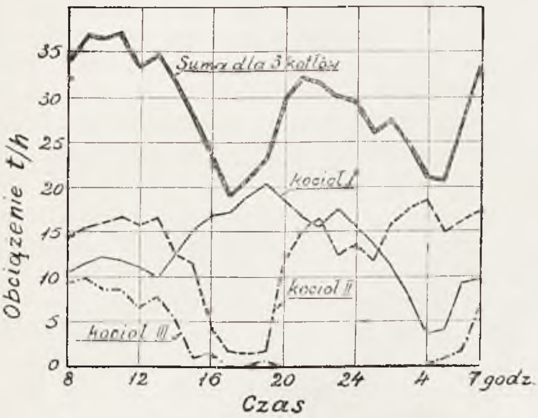


Rys. 2

dla trzech kotłów. W tem ujęciu wyeliminowane są chwilowe wahania obciążeń.

Podczas pomiarów, jak to wynika z wykresu (rys. 3), praca poszczególnych kotłów pod względem zmienności wydajności była wywołana nietylko zmianami odpowiadającemi przebiegowi obciążenia elektrowni, ale zachodziły również duże przesunięcia w samym rozkładzie obciążenia na poszczególne jednostki kotłowe. Widzi się tu naogół pewną dowolność w tym rozkładzie. Jest ona jednak w tym wypadku raczej przypadkowa, bo według miejscowych założeń praca normalnie odbywa się w ten sposób, że jeden z kotłów

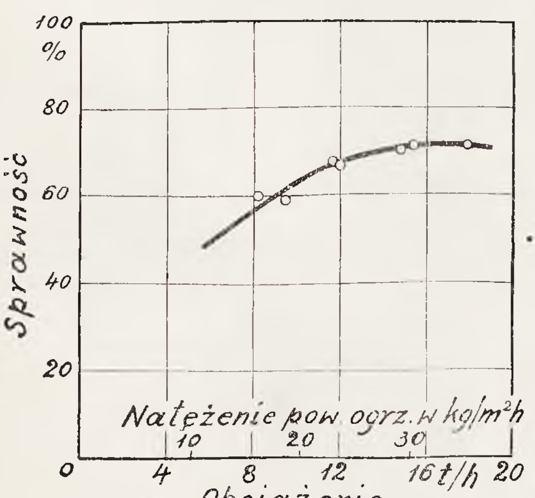
ma pracować stale na pewne większe, mniej więcej normalne, obciążenie, drugi zaś ma obejmować resztę obciążenia, a więc i wahania. Trzeci kocioł, poza swem przeznaczeniem jako znajdująca się w pogotowiu rezerwa, pracuje przez kilka godzin w ciągu



Rys. 3

doby. W okresie największych obciążeń w ciągu omawianej doby kocioł ten pracował jednorazowo przez 8 godzin.

Przy pracy kilku kotłów i okresowo-zmiennych obciążeniach rozdział pracy na poszczególne jednostki kotłowe ma wpływ na ekonomję pracy kotłowni, a mianowicie na ogólny wynik sprawności. I w tym właśnie wypadku dla wyznaczenia racjonalnego roz-



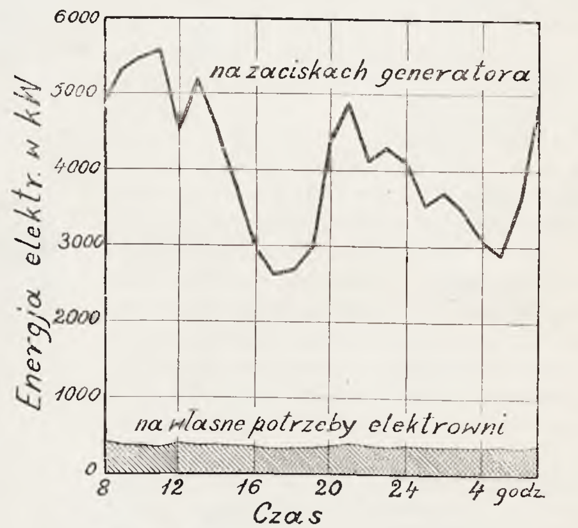
Rys. 4

działu obciążeń potrzebna jest znajomość krzywej sprawności kotłów, czyli znajomość sprawności w zależności od obciążenia.

Krzywa sprawności badanych kotłów nie jest znana. Poza tem również brak jest aparatury wskazującej każdorazowe obciążenia poszczególnych kotłów (paromierzy). W tych warunkach właściwe sharmonizowanie pracy kotłów przez odpowiednie ustosunkowanie się do zmiennych obciążeń, jak również bezpośrednia obsługa kotłów są utrudnione.

Ogólna ilość wyprodukowanej pary w ciągu omawianej doby pomiarowej wynosiła 690090 *kg* z czego na kocioł I przypada 45,4%, na kocioł II: 44,5% i na kocioł III: 10,1%. Węgla-miału o wartości opałowej dolnej 5169 *kal/kg* spalono ogółem 133350 *kg*. Ogólną sprawność kotłowni, którą należy już uważać jako sprawność ruchową, otrzymano w wysokości 67,44%.

Najgorsza sprawność w wysokości 58,5% przypada na kocioł III-ci o okresowej pracy. Przez cały czas postoju — około 16-tu godzin — kocioł ten był połączony z głównym rurociągiem parowym. W tych warunkach, biorąc pod rachubę ewentualny dopływ do niego świeżej pary z innych kotłów na pokrycie strat ciepła w czasie postoju, obliczo-



Rys. 5

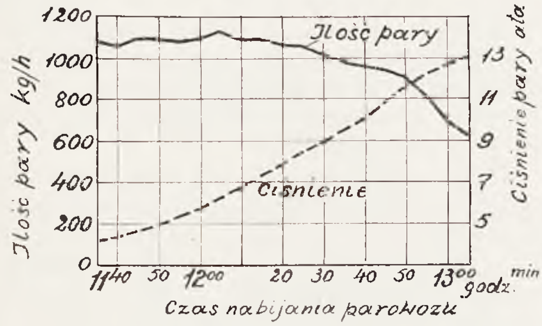
na sprawność tego kotła jest przybliżona i raczej korzystniejsza od faktycznej. W ogólnym wyniku kocioł ten wpłynął obniżająco na sprawność ogólną kotłowni.

Średnia sprawność kotła I-go wynosiła 67,07%. Nieco wyższą bo wynoszącą 70,16%, wykazał kocioł II-gi. Ten ostatni był o tyle w korzystniejszych warunkach, że gdy na kocioł I-szy po ostatniem gruntownem czyszczeniu przypada okres pracy około 4000 godzin, a na kocioł III-ci 3600 godzin, to ten okres dla kotła II-go wynosił tylko około 200 godzin.

Aby mieć pogląd na pracę kotłów w krótszych okresach pomiarowych zestawiono przybliżoną sprawność poszczególnych kotłów za okresy 8 miogodzinne. W ten sposób (rys 4.) otrzymano orjentacyjną krzywą sprawności. Najwyższa okresowa sprawność (71,8%) odpowiada obciążeniu około 35 *kg/m²h*, które jest uważane za obciążenie normalne. Otrzymany przebieg krzywej jest mniej ko-

rzystny, bo w obrębie mniejszych obciążeń zachodzi znaczniejszy spadek sprawności.

Na taki przebieg krzywej sprawności miały wpływ czynniki natury tak konstrukcyjnej jak i ruchowej. Ruszt, którego po-



Rys. 6

wierzchnia w stosunku do powierzchni ogrzewalnej kotła wyraża się stosunkiem około 1 : 17, jest stosunkowo wielki, to też jego całkowite pokrycie warstwą węgla — choćby nawet cienką przy węglu o kaloryczności 5000 — 5300 *kal/kg* odpowiada już większym obciążeniom. Niezupełnie zaś pokryty paliwem ruszt przy niewłaściwym podmuchu i ciągu może być powodem większych strat wskutek nadmiernej nadwyżki powietrza, obniżenia temperatury w palenisku i związanych z tem gorszych warunków spalania. Zwłaszcza dla zmiennych obciążeń często jest potrzebna regulacja ciągu i podmuchu, wzgl. strefowego dopływu powietrza, a to związane jest z bezpośrednią obsługą kotła. I na tej drodze istnieje możliwość polepszenia sprawności, głównie w obszarze mniejszych obciążeń.

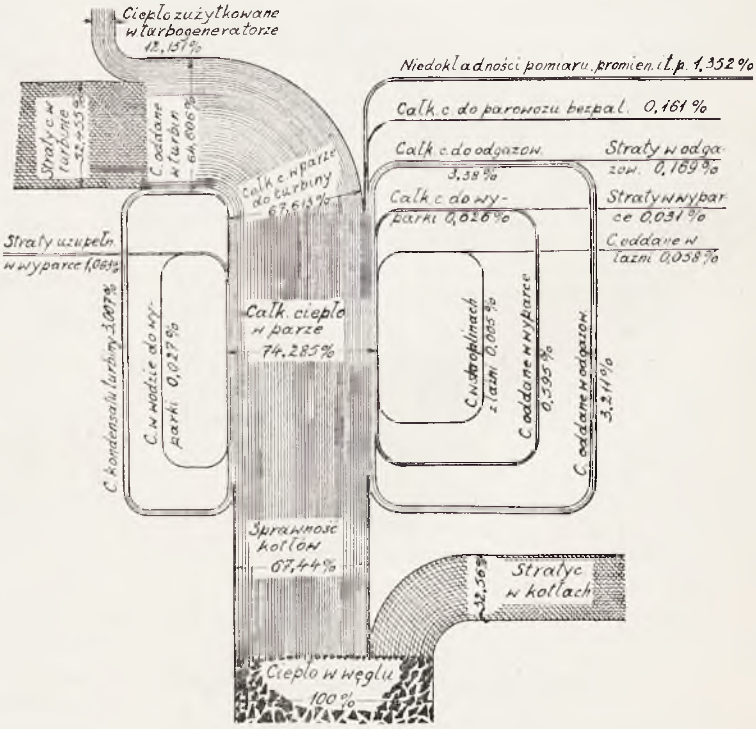
Świeżej pary do wyparki doprowadzono 5815 *kg*, co stanowi 0,84% ogólnej ilości pary. Surowej wody przerobiono w wyparce 10120 *kg*, czyli na 1 *kg* świeżej pary przypada 1,74 *kg* surowej wody. Uzupełnione straty w obiegu para—woda wynosiły 1,47%.

Jak zaznaczono na wstępie — wyparka pracuje jako dwustopniowa. Do pierwszego odparowywacza dopływała para o ciśnieniu zredukowanem do 7,2 *atn*. Odparowywana w nim woda surowa o średniem ciśnieniu 1,5 *atn* przechodziła do drugiego odparowywacza, gdzie się skraplała, odparowywując w nim wodę surową. Otrzymane w wyparce skropliny i para o minimalnem ciśnieniu (z drugiego odparowywacza) doprowadzane są do ogólnej ilości kondensatu z turbiny, któremu oddają swe ciepło i podwyższają jego temperaturę (w czasie pomiarów z 33°C do 39°C).

Zużycie świeżej pary w odgazowywaczu wyniosło 31390 *kg*, czyli 4,55% ogólnej ilości odparowanej wody w kotłach. Woda zasilająca (kondensat) wchodziła do odgazowywacza o temperaturze średnio 39°C, a wychodziła podgrzana do 70,5°C. Średnia próżnia w odgazowywaczu wynosiła 68,2%.

Zbadana w laboratorjum przed pomiarami próbka wody wykazała, że zawartość tlenu w wodzie odgazowanej wynosiła około 0,12 *mg/l*. Taka zawartość tlenu w miejscowych warunkach jest jeszcze praktycznie nieszkodliwa, co wskazuje, że odgazowanie wody zasilającej jest dostateczne.

W czasie omawianej doby pomiarowej wyprodukowano ogółem 97388 *kWh* brutto (na zaciskach generatora), czyli przeciętne obciążenie na godzinę wynosiło 4058 *kW*. Przebieg obciążenia notowany co 5 minut uwidacznia wspomniany wykres (rys. 2) zaś średnią godzinową wartość osobny wykres (rys. 5), na którym wykreślono zużycie prądu na własne potrzeby elektrowni. W odniesieniu do prze-



Rys. 7

ciętnego obciążenia, wahania obciążeń liczonych na zaciskach generatora w średnich wartościach dla poszczególnych godzin leżały w granicach od — 35,4% do + 37,5%, czyli od 2662 *kW* do 5580 *kW*. Chwilowe wahania miały naogół niewiele większą rozpiętość; chwilowa maksymalna moc osiągnęła wartość 6072 *kW*, zaś minimalna 2328 *kW*, czyli w stosunku do średniej od + 49,6% do — 42,3%.

Zużycie energji elektrycznej na napęd kondensacji wynosiło 5,37%, na inne cele

3,88%, czyli razem na własne potrzeby elektrowni zużytkowano 9,25% ogólnej produkcji brutto. Znajdująca się do dyspozycji ilość energji elektrycznej netto, czyli po odjęciu zużycia na własne potrzeby elektrowni, wynosiła 88378 *kWh*.

Kondensatu z turbiny otrzymano 628100*kg*, co stanowi 91,02% ogólnej ilości wody odparowanej w kotłach. Przeciętnie do wytworzenia 1 *kWh* zużyto pary: dla mocy brutto 6,45 *kg*/*kWh*; przeciętny stan pary przy turbinie: $p = 13{,}3$ *atn*, $t = 306{,}4^0$C, próżnia w kondensatorze 95,9%. Biorąc w rachubę całkowitą ilość spalonego węgla i odnosząc ją w całości wyłącznie do wytworzenia energji elektrycznej (co w rzeczywistości nie jest ścisłe, gdyż część ciepła, zresztą procentowo minimalna, zużywana jest na inne cele), wówczas zużycie węgla wynosi dla mocy brutto: 1,373 *kg*/*kWh*. Po uwzględnieniu dolnej wartości opałowej paliwa zużycie ciepła zawartego w węglu wynosi: dla mocy brutto: 7097 *kal*/*kWh*.

Parowóz bezpaleniskowy w czasie pomiarów był jeden raz napełniony. Czas nabijania wynosił półtorej godziny, a zużycie pary 1500 *kg*. Charakterystyczny przebieg napełnienia, a więc przebieg ciśnienia i ilości dopływającej pary w zależności od czasu podaje wykres (rys. 6).

W łaźni zużyto 585 *kg* pary.

Zestawiając zużycie pary na poszczególne cele w elektrowni wówczas otrzymujemy następujący podział ilościowy i procentowy:

a) w turbinie	628100	*kg*	czyli	91,02%
b) w wyparce	5815	„	„	0,84%
c) w odgazowywaczu	31390	„	„	4,55%
d) straty pary	10120	„	„	1,47%
e) do parowozu bezpaleniskowego	1500	„	„	0,22%
f) w łaźni	585	„	„	0,08%
g) niedokładności pomiarów i t.p.	12580	„	„	1,82%
Razem .	690090	*kg*	czyli	100,00%

Całkowity bilans cieplny, biorąc za podstawę ciepło zawarte w dostarczonym do palenisk węglu i jego dolną wartość opałową, jest podany na wykresie (rys. 7), który w sposób przejrzysty ilustruje obieg ciepła w badanej elektrowni. Z wykresu wynika, że sprawność termiczna elektrowni wynosi 12,151%. Jest to wartość w części przybliżona, gdy chodzi o samą produkcję prądu, gdyż z ciepła zawartego w węglu część jego — zresztą minimalna — zużywana jest na inne cele.

Wyodrębniając turbogenerator i biorąc ciepło w parze doprowadzonej do turbiny za 100%, ciepło zamienione w turbogeneratorze w energję elektryczną stanowi 17,97%.

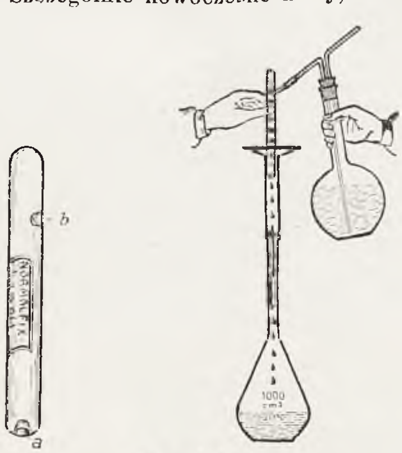
Realnym wykładnikiem codziennej pracy urządzeń są wartości ruchowe. Dokładny bilans takich wartości — to cenny materjał do analizy i porównań.

KRONIKA TECHNICZNA.

Stowarzyszenie Dozoru Kotłów w Warszawie.
Chemiczne Laboratorjum Wodne.
Komunikat nr. 2.

Mianowane (normalne) odczynniki do analiz wody.

Woda stanowi podstawowy czynnik w bardzo wielu gałęziach przemysłu, głównie zaś w siłowniach cieplnych. Szczególnie nowoczesne kotły, budowane na



Rys. 1 i 2

coraz wyższe ciśnienia i coraz większe obciążenia powierzchni ogrzewanej, wymagają specjalnie dobrej wody. W miarę rozrostu osiedli również nabiera coraz większego znaczenia sprawa wody do picia i do celów gospodarczych.

W związku z tem zachodzi konieczność wykonywania całkowitych i dokładnych analiz chemicznych wody potrzebnych bądźto do określenia jej zdatności dla celów przemysłowych lub spożywczych bądź też do wyboru środków i urządzeń dla ulepszania jej własności i usuwania ujemnego oddziaływania. W razie wystąpienia trudności powodowanych zachowaniem się wody, zaradzić im można jedynie na podstawie dokładnych i pewnych analiz wody. Aby je uzyskać, niezbędnem jest ustalenie jednolitych metod analitycznych oraz stosowanie do analiz dobrych odczynników chemicznych. Bez tego bowiem analizy wykonane w różnych laboratorjach nie będą porównywalne ze sobą.



Rys. 3

Stany Zjednoczone Ameryki Północnej pierwsze uznały potrzebę znormalizowania chemicznych metod badania wody jeszcze w r. 1895. U nas Ministerstwo Spraw Wewnętrznych wydało w ciągu ostatnich kilku lat szereg rozporządzeń zmierzających do uregulowania kwestji wód spożywczych. W roku 1934 ukazał się projekt „Ujednostajnionych metod fizycznego i chemicznego badania wody", opracowany przez Państwową Szkołę Hygjeny w Warszawie i mający za zadanie normalizację badania wody dla celów sanitarnych.

Wszelkie urządzenia służące do ulepszania wody wymagają ciągłej kontroli chemicznej, bez której należyte ich działanie jest nie do przeprowadzenia. Nadzór taki w kotłowni obejmuje zazwyczaj perjodyczne (najczęściej codzienne) badanie wody surowej, zmiękczonej,

kondensatów, wody zasilającej i kotłowej, przyczem ogranicza się zwykle do kilku oznaczeń chemicznych, jak oznaczenie twardości całkowitej i węglanowej, alkaliczności węglanowej i kaustycznej, względnie rozpuszczonego tlenu. Naogół wykonywanie tych oznaczeń bywa powierzane inteligentniejszym jednostkom z działu obsługi kotłów, a więc maszynistom, starszym palaczom i t. p. Sposób przeprowadzania analiz ruchowych jest stosunkowo mało skomplikowany. Pozatem prawie zawsze dostawcy dostarczają wraz z urządzeniem do ulepszania wody odpowiednie komplety przyborów i odczynników oraz dokładne pouczenia. W razie braku takiego kompletu, wzgl. w specjalnych wypadkach Laboratorjum Wodne Stow. Doz. Kotłów zestawia na żądanie potrzebne przyrządy i odczynniki oraz opracowuje szczegółowe instrukcje posługiwania się niemi.

Kłopoty zaczynają się zazwyczaj po wyczerpaniu dostarczonego zapasu odczynników, zwłaszcza jeśli zakład nie posiada własnego laboratorjum chemicznego, które mogłoby sporządzić nowe odczynniki. Przygotowanie odczynników i sprawdzenie ich przez niefachowców, bez odpowiednio wyposażonego laboratorjum chemicznego jest niewykonalne. Gotowe roztwory nabywane w handlu bywają różnej jakości. Ich miana (t. j. ściśle określone stężenie danego odczynnika) nie zawsze są dokładne, co powoduje, że analizy wykonane takiemi odczynnikami dają wyniki błędne.

Dla zaradzenia tym trudnościom zostały wypuszczone na rynek naboje odczynników w zatopionych ampułkach szklanych (rys. 1) zawierających ściśle odważoną ilość danej substancji, (najczęściej 1/10 część równoważnika chemicznego tej substancji). Zawartość ampułki rozpuszczona w jednym litrze wody destylowanej daje gotowy do użycia roztwór o ściśle określonem mianie. Naboje te są wyrabiane pod nazwą „Normalfix". Produkcja ich odbywa się pod ścisłą kontrolą naukową Dr. J. Jurkiewicza, współpracownika, chemika Laboratorjum Wodnego Stowarzyszenia Dozoru Kotłów w Warszawie oraz Dr. R. Klimka, byłych st. asystentów Uniwersytetu J. K. we Lwowie, co daje gwarancję pewności wyrobu.

Przygotowanie odczynników przy użyciu nabojów „Normalfix" jest bardzo proste. Nabój wrzuca się do wąskiego leja (rys. 2) umieszczonego na kolbie o pojemności jednego litra. W leju znajduje się iglica szklana, która przebija wklęśnięcie „a" ampułki; pozatem przebija się wklęśnięcie „b" ampułki i wprowadza przez ten otwór wylot z tryskawki dla dokładnego wypłukania ampułki. Wyczerpujące wskazówki i przepisy użycia wydała wytwórnia „Normalfixu" i dostarcza ich na żądanie.

Do sporządzenia roztworu niezbędne jest dokładne odmierzenie jednego litra wody destylowanej zatem należy posługiwać się kolbą miarową (rys. 2). Ponieważ kolby te normalnie wykonywane są z cienkiego szkła, zatem łatwo tłuką się, a przytem są stosunkowo drogie, wobec tego wytwórnia „Normalfixu" rozpoczęła produkcję kolb miarowych kształtu według Stohmanna (rys. 3.). Kolby te o specjalnie grubych ścianach, niewywrotne, nadają się dobrze do pracy w warunkach ruchowych.

Jest rzeczą jasną, że naboje „Normalfix" mogą znaleźć szerokie zastosowanie nietylko dla kontroli ruchu urządzeń do ulepszania wody, lecz także do wszelkich analiz miarowych w laboratorjach chemicznych, gdyż pozwalają na uniknięcie żmudnego nastawiania normalnych roztworów, — a więc dają znaczną oszczędność czasu.

Wybory delegatów członków Stowarzyszenia Dozoru Kotłów w Warszawie.

W okresie od 20 do 28 września odbyły się wybory delegatów członków Stowarzyszenia. W poszczególnych okręgach wyborczych w drodze tajnego głosowania wybrani zostali:

1) w Okręgu wyborczym Warszawa, obejmującym m. st. Warszawę, woj. Warszawskie i Białostockie, pp.: Konstanty Axamitowski, Ignacy Dąbrowski, Władysław Froelich, Jan Iwasiewicz, Maksymiljan Lisowski, Jerzy Łempicki, Henryk Martens, Ludwik Pannenko, Kazimierz Rygiert, Henryk Steinhagen, Bronisław Sulimierski, Andrzej Wierzbicki;

2) w Okręgu wyborczym Wilno, obejmującym woj. Nowogródzkie i Wileńskie, pp.: Feliks Stolle, Stefan Szostakowski;

3) w Okręgu wyborczym Lublin, obejmującym woj. Lubelskie, Poleskie i Wołyńskie, pp.: Leon Epsztein, Jan Eustachy Kowerski, Roman Laśkiewicz, Ruppert Łopaciński, Konstanty Roth, Kazimierz Skąpski, Leon Troniewski;

4) w Okręgu wyborczym Lwów, obejmującym woj. Lwowskie, Stanisławowskie i Tarnopolskie, pp.: Tadeusz Höflinger, Bogusław Horodyński, Stanisław Kozłowski, Roman Machnicki, Władysław Matzke, Stanisław Panczyj, Kazimierz Papara, Leon Edward Podleski, Jan Rucker, Stanisław Schätzel, Zygmunt Tałasiewicz, Roman Witkiewicz, Czesław Załuski;

5) w Okręgu wyborczym Kraków, obejmującym woj. Krakowskie i Śląskie (pow. Bielski i Cieszyński), pp.: Zygmunt Bielski, Edmund Chromiński, Jan bar. Czecz, Juljusz Quissek, Zdzisław Rauch, Kamil Wachlowski;

6) w Okręgu wyborczym Dąbrowa Górnicza, obejmującym woj. Kieleckie, pp.: Ignacy Bereszko, Paweł Jaguczański, Jan Kurzewski, Stanisław Raźniewski, Witold hr. Sągajłło, Walery Swirtun, Jan Wengris, Edmund Zieleniewski;

7) w Okręgu wyborczym Łódź, obejmującym woj. Łódzkie, pp.: Brunon Biederman, Stefan Bursze, Stanisław Kaszer, Bronisław Kroh, Bronisław de Michelis, Zygmunt Rau, Władysław Srzednicki, Zbigniew Wilski.

Członkami Rady Nadzorczej obecnie są pp.:

Henryk Steinhagen, Jan Eustachy Kowerski, Brunon Biederman, Zygmunt Bielski, Edmund Chromiński, Wiesław Chrzanowski, Ignacy Dąbrowski, Joachim Hempel, Paweł Jaguczański, Jerzy Łempicki, Roman Machnicki, Bronisław de Michelis, Ludwik Pannenko, Kazimierz Papara, Witold hr Broel-Plater, Leon Edward Podleski, Zdzisław Rauch, Witold hr. Sągajłło, Władysław Srzednicki, Andrzej Wierzbicki.

Członkami Zarządu — pp.:

Jerzy Łempicki, Zygmunt Bielski, Edmund Chromiński, Ignacy Dąbrowski, Paweł Jaguczański, Jan Eustachy Kowerski, Roman Machnicki, Bronisław de Michelis, Leon Edward Podleski, Stanisław Raźniewski,

oraz członkami Komisji Rewizyjnej pp.:

Władysław Froelich, Maksymiljan Lisowski, Henryk Martens.

Druk. Kooperatywy Pracowników Drukarskich. Warszawa, Zielna 47. Tel. 619-57.